

Ю.М. Яровий¹, С.М. Яровий¹, В.А. Левада², Т.М. Альошечкіна¹

¹Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Україна

²ТОВ «НВС «КОНЦЕПТ БУД»

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЩОГЛ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ЇХ СТІЙКОСТІ

Розрахунок щоглової системи виконується з використанням розрахункової моделі у вигляді стиснутого стрижня на пружно-податливих опорах, розташованих в точках кріплення відтяжок. Конструкції щогл зазвичай мають декілька рівнів кріплення відтяжок по висоті, що суттєво впливає на їх напружено-деформований стан та стійкість. Підбір раціональних площ перерізів елементів щогли, що змінюються по її висоті, є задачею оптимізації матеріалоемності конструкції за умов забезпечення міцності та стійкості. Розглянуто один з підходів до вибору елементів перерізу щоглової системи при дослідженні її стійкості. Задача оптимізації полягає у знаходженні варіаційної функції розподілу по висоті площ перерізів елементів щогли, що максимізує коефіцієнт запасу стійкості.

Ключові слова: щогла, пружно-податлива опора, розрахункова система, задача оптимізації, коефіцієнт запасу стійкості.

Постановка проблеми

Проектування, виготовлення та монтаж щоглових систем є досить складною задачею, що вимагає оптимізації таких питань, як вага конструкції, технологічність монтажу та взаємозамінність елементів при модернізації обладнання мобільних мереж.

Щоглові системи зазвичай є збірними [1], тобто конструкція щогли складається з окремих елементів, площа перерізу яких змінюється по висоті. Особливе значення приділяється розрахунку щоглової системи на стійкість [2] з урахуванням жорсткості пружно-податливих опор, розташованих по висоті в точках кріплення відтяжок. Знаходження залежності, що відповідає оптимальному розподілу площ перерізів елементів щогли по висоті та максимізує коефіцієнт запасу стійкості щогли, є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Задача оптимізації об'єму матеріалу щогли за рахунок зміни по висоті площі поперечних перерізів в задачах стійкості розглянута в роботі [3]. Дослідження стійкості щогл за умов оптимальності в формі принципу максимуму об'єму матеріалу в межах встановлених обмежень та максимізації коефіцієнту стійкості, розглянуто в статтях [4, 5]. В наведених роботах не розглядалась можливість зміни по висоті поперечних перерізів елементів модулів щогли з прокатних металевих профілів, а також можливість зміни по висоті окремих модулів з метою забезпечення максимального коефіцієнту стійкості.

Значний вклад в розрахунок стійкості стрижневих систем зробив український вчений М.В. Корноухов [6]. Розрахунок стійкості щогл з урахуванням жорсткості пружно-податливих систем розглянуто в роботі [7]. Задачі стійкості щогл з урахуванням роботи гнучких ниток вант щоглових систем розглянуто в роботі [8, 9]. Роботи П.Ф. Папковича, В.Б. Гриньова, А.П. Філіпова є основою досліджень даної статті [10, 11]. В роботах не розглядалися багатоярусні конструкції щогл з урахуванням зміни податливості пружно-податливих опор по висоті.

Мета роботи

Метою даної роботи є розробка методики підбору перерізів щогли за умови оптимізації об'єму матеріалу та максимізації коефіцієнту стійкості, що досягається за рахунок зміни по висоті поперечних перерізів поясів щогли. В роботі розглянута плоска задача з урахуванням дії максимальних вітрових навантажень в площині XOY.

Виклад основного матеріалу дослідження

Щогла – це стрижнева, пружна система, що складається з вертикального стрижня, закріпленого на нижньому кінці та розкріпленого по висоті гнучкими нитками.

Розрахункова модель щоглової системи – стиснутий стрижень на пружно-податливих опорах, розташованих в точках кріплення відтяжок – гнучких пологих ниток (канатів). Жорсткості пружно-податливих опор залежать від параметрів відтяжок та зусиль в канатах [3].

Розрахункова схема стрижня щоглової системи показана на рис. 1. Наведено схему щоглової системи з відтяжками, розташованими на трьох рівнях. Диференційні рівняння (1) описують деформації згину в площині xu .

$$\frac{dv}{dx} = \varphi; \quad \frac{d\varphi}{dx} = -\frac{M}{EI}; \quad \frac{dM}{dx} = Q + P \cdot \varphi; \quad \frac{dQ}{dx} = 0, \quad (1)$$

де $v(x)$, $\varphi(x)$, $M(x)$, $Q(x)$ – переміщення, кут повороту, згинальний момент, поперечна сила в перерізі x ;
 I – момент інерції поперечного перерізу стрижня;
 E – модуль пружності;
 P – поздовжня сила.

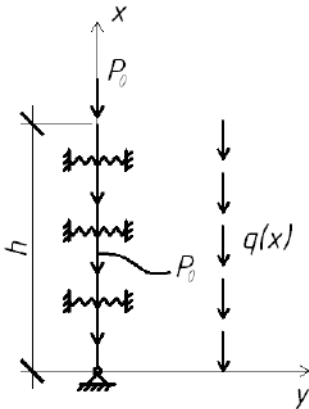


Рис. 1. Розрахункова схема стрижня щоглової системи

Поперечний переріз стрижня щоглової системи змінний по висоті. Момент інерції поперечного перерізу I і площа F , є функції координати x .

Поздовжнє зусилля $P(x)$, розподілене по висоті стрижня має декілька складових:

$$\left. \begin{aligned} P(x) &= P_a(x) + P_b(x) \\ P_b &= \int_x^h q(x) dx, \\ P_a &= P_0 + \sum_{i=1}^m \sigma \cdot (x_i - x) \cdot P_i \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Для випадку, коли $q(x)$ є погонне навантаження від ваги, $q(x) = \mu \cdot F(x)$, μ – питома вага матеріалу; P_0 – поздовжня сила на верхньому обрізі щогли (вага обладнання); P_i – стискаючі сили, які є наслідком натягнення T_i – тросів відтяжок (рис.2). Функція σ має вигляд:

$$\sigma \cdot (x_i - x) = \begin{cases} I, & x \leq x_i; \\ 0, & x > x_i; \end{cases} \quad (3)$$

$$i = \overline{1, m},$$

де m – число точок x_i розташування відтяжок.

Система диференціальних рівнянь (1) доповнюється граничними умовами (4):

$$\begin{aligned} a_1 \varphi_{(0)} + b_1 M_{(0)} &= 0; \\ a_2 v_{(0)} + b_2 M_{(0)} &= 0; \\ M(h) = Q(h) &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

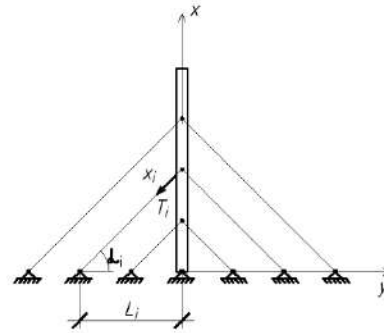


Рис. 2. Розрахункова схема щоглової системи

Вибором параметрів a_1, \dots, b_2 моделюють способи закріплення основи щогли. Зокрема для шарнірногообпирання, показано на рис. 1.

$$a_2 = b_1 = 0; \quad a_1 = b_2 = 0; \quad (v(0) = M(0) = 0).$$

Якщо щогла жорстко затиснена:

$$a_1 = a_2 = I; \quad b_1 = b_2 = 0; \quad (v(0) = \phi(0) = 0).$$

На опорах виконуються умови:

$$\begin{aligned} V(x_i^-) &= V(x_i^+); \quad \varphi(x_i^-) = \varphi(x_i^+); \\ M(x_i^-) &= M(x_i^+); \\ Q(x_i^-) + c_i \cdot v(x_i^-) &= Q(x_i^+); \end{aligned} \quad (5)$$

$$i = \overline{1, m}.$$

де x_i^-, x_i^+ – значення координат x ліворуч, праворуч від точки x_i ;

c_i – величина жорсткості опори в точці x_i відносно переміщень, перпендикулярних до осі стрижня.

Надалі розглядаються жорсткості c_i тільки в монтажному стані та формули для їх розрахунку через параметри відтяжок запозичені з роботи [3].

Система, показана на рис.1 може досягти положення нестійкої рівноваги при зростанні різних навантажень P_0 , P_i , $\mu \cdot F$. Питання комплексного впливу різних навантажень на стійкість пов'язані з

дослідженням межі області стійкості у багатовимірному просторі, координатами якого є величини окремих типів навантажень. Властивості меж області стійкості, зокрема її опуклість, були досліджені П.Ф. Папковичем [11]. В роботі розглянуто вид навантаження, коли усі навантаження зростають пропорційно деякому параметру α , тобто на систему діють навантаження $\alpha \cdot P_0$, $\alpha \cdot P_i$, $\alpha \cdot \mu \cdot F$. Критичне значення параметра $\alpha = \alpha_{кр}$ є першим власним значенням крайової задачі (1) – (5) при підстановці $\alpha \cdot P_0$, $\alpha \cdot P_i$, $\alpha \cdot \mu \cdot F$. Величина $\alpha_{кр}$ чисельно характеризує коефіцієнт запасу стійкості відносної системи навантажень, що розглядається.

Використаємо підхід, викладений в [10], для формулювання задачі оптимізації. В якості варійованої функції виберемо розподіл по висоті площі поперечного перерізу $F(x)$,

$$F_1(x) \leq F(x) \leq F_2(x) \quad (6)$$

Обмеження (4) створюють зону зміни об'єму матеріалу щогли:

$$V_1 = \int_0^h F_1(x) dx \leq V(x) \leq V_2 = \int_0^h F_2(x) dx. \quad (7)$$

Зафіксуємо об'єм матеріалу V з діапазону (7). Задача оптимізації полягає в знаходженні $F(x)$, підпорядкованої обмеженням (6) і такою, що максимізує коефіцієнт стійкості α , що визначається з крайової задачі (1) – (5).

Необхідні умови оптимальності у формі принципу максимуму [10] для такої задачі, яку далі символічно позначаємо $V \rightarrow \alpha$, можна сформулювати використовуючи результати [10]. Питання оптимізації стрижнів в задачах стійкості мають давню історію. Особливості застосування принципу максимуму були детально проаналізовані в статтях [4, 5], а також монографії [10], де запропонований також ефективний алгоритм рішення подібних завдань оптимізації.

Необхідні умови оптимальності будуть представлені крайовою задачею (1) – (5), замкнутою на оптимальній $F(x)$ умовою максимуму гамільтоніана

$$H = -\frac{M^2}{EI} - \int_0^x \phi^2 \cdot dx \cdot F - \lambda \cdot F. \quad (7)$$

Величина λ у формулі (7) є невизначеним множником Лагранжа для обліку умови постійності об'єму. Максимум гамільтоніана по F , що розглядається як параметр, досягається в кожній точці $x \in [0, h]$.

Так знаходиться залежність $F(M, \phi, \lambda)$, яка підставляється в крайову задачу (1) – (5), що робить її нелінійною.

Як приклад об'єкту дослідження, розглядається щоглова система з трьома рівними відтяжками, заввишки 28,0 м. Конструктивно щогла є збірною конструкцією з двометрових гратчастих секцій, з розміром сторін на плані 0,5x0,5 м. Пояси гратчастої щогли виконані з труби 51x5, ГОСТ 10704-91, грати – з прокатної сталі Ø14 мм. Монтажник натяг відтяжок 5,3 кН.

Для вибору схеми варіювання прийнято сім варіантів поперечних перерізів труб поясів щогли, показаних на рис.3.

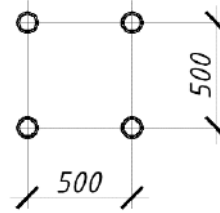


Рис.3. Схема поперечного перерізу щогли

У табл. 1 наведено номери поперечних перерізів, яким відповідають за сортаментом, варіанти трубчастих перерізів, з наведенням діаметру і товщини стінки, а також відповідні площі та моменти інерції.

Для спрощення розрахунку приймемо, що площа перерізів, а отже і товщина стінок елементів змінюється безперервно від номера 1 до номера 7.

Відповідно до такої схеми варіювання можна прийняти лінійну залежність моменту інерції поперечного перерізу від площі

$$E \cdot I = A \cdot F, \quad (8)$$

де A — фіксована величина, що підраховується відповідно до даних табл. 1.

В обмеженнях (6) номер 1, в табл. 1, відповідає F_1 , а номер 7 — F_2 .

Введемо позначення:

$$\psi(x) = \int_0^x \phi^2 dx. \quad (9)$$

В цьому випадку гамільтоніан матиме вигляд:

$$H = -\frac{M^2}{A \cdot F} - (\psi + \lambda) \cdot F. \quad (10)$$

Таблиця 1.

Номера перерізів елементів щогли та характеристики перерізів за сортаментом

№ за сортаментом	1	2	3	4	5	6	7
Переріз	Тр. Ø51x2	Тр. Ø51x2,2	Тр. Ø51x2,5	Тр. Ø51x2,8	Тр. Ø51x3	Тр. Ø51x3,2	Тр. Ø51x3,5
$F_1, \text{см}^2$	12,32	13,2	15,24	16,96	18,08	19,24	20,88
$I, \text{см}^4$	7573	8127	9379	10437	11126	11839	12848

Легко бачити, що, $\frac{\partial^2 H}{\partial F^2} \leq 0$, отже $H(F)$ опукла вгору функція для усіх $x \in [0, h]$. Вона досягає максимуму або в точці F_* , де $\frac{\partial H}{\partial F} = 0$, або на найближчій до F_* межі інтервалу (4). Величина F_* обчислюється із співвідношення:

$$\frac{\partial H}{\partial F} = \frac{M^2}{A \cdot F^2} - (\psi + \lambda) = 0.$$

Звідси

$$F_* = \sqrt{\frac{1}{A \cdot (\psi + \lambda)}} \cdot |M|.$$

Отже, оптимальна функція $F(x)$ визначається:

$$F = \begin{cases} F_2, & F_* \geq F_2; \\ F_*, & F_1 < F_* < F_2; \\ F_1, & F_* \leq F_1. \end{cases} \quad (11)$$

Чисельне рішення задачі $V \rightarrow \alpha$ проведено за методикою, запропонованою в [10], яка полягає в наступному. Вибирається деяке початкове наближення $F_0(x)$, що має заданий об'єм V . Для заданої функції $F(x) \equiv F_0(x)$ вирішується лінійна крайова задача (1) – (3). Нове наближення $F_1(x)$ знаходиться по формулі (11), при цьому величина невизначеного множника Лагранжа λ підбирається так, щоб у рамках формули (11), об'єм зберігався.

$$\int_0^h F_1(x) dx = V,$$

тобто об'єм зберігається. Ця процедура досить проста. Далі вирішується лінійна крайова задача (1)–(5) для $F(x) \equiv F_1(x)$, знаходиться нове наближення і так далі. Як продемонстровано в [10] такий ітераційний процес досить швидко сходиться. Добрий результат досягається вже після перших ітерацій. Причиною хорошої збіжності є те, що

характер функції $M(x)$ досить стабільний при помірних варіаціях площі $F(x)$.

В якості ілюстрації цього підходу на рис. 4а–е наведені результати рішення задач $V \rightarrow \alpha$ для даної щогли. При цьому фіксований об'єм відповідає виконанню усіх секцій одного і того ж перерізу, відповідного № за сортаментом. Рис.4а відповідає випадку, коли опори відсутні, тобто ми маємо щоглу, защемлену в основі і вільну на вершині. Схематично показана умова закріплення, а також форми переміщення $V(x)$ і згинального моменту $M(x)$, у разі втрати стійкості.

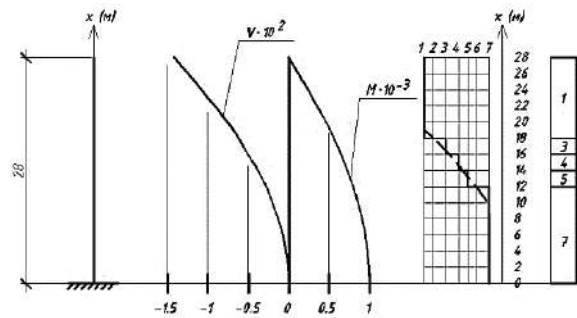


Рис. 4а. Розрахункова схема щогли без відтяжок

Відмітимо відомий факт: величини $V(x)$, $M(x)$ визначаються з точністю до постійного множника, так що значення мають не їх абсолютні величини, а співвідношення між ними.

Справа показаний оптимальний розподіл номерів сортаменту по висоті щогли, що максимізує коефіцієнт запасу. По вертикалі відкладені координати перерізів в метрах, починаючи з основи щогли, а по горизонталі — номери за сортаментом. Пунктиром показаний прийнятий в побудовах безперервний розподіл геометричних параметрів.

Дискретний розподіл вибраний так, щоб об'єм матеріалу для дискретного набору мало відрізнявся від теоретичного безперервного варіанту. Відмінність коефіцієнта запасу стійкості дискретного і безперервного варіанту складає величину порядку 1%. В крайньому правому стовпці показаний розподіл номерів сортаменту по висоті.

На рис. 4b показаний оптимальний дискретний розподіл сортаменту по висоті для випадку однієї опори, при цьому $L_1=6$ м (рис.2). Монтажна жорсткість опори підраховується по формулах з роботи [1]:

$$c_1=2870,62 \text{ кг/см.}$$

Натягнення вант створює стискаюче зусилля, що діє уздовж осі щогли:

$$P_1=9404,75 \text{ кг.}$$

Рис. 4b наочно демонструє, як оптимальне розподілення геометричних параметрів по висоті «відстежує» характер змін форми згинального моменту.

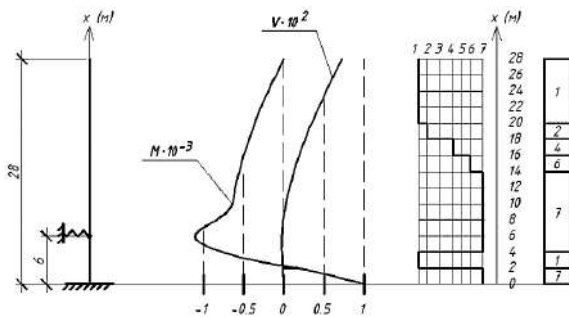


Рис. 4б. Розрахункова схема щогли з однією опорою. $L_1=6$ м

Рис. 4с, d показують, як міняється ситуація, коли пружна опора розміщується послідовно в точках $x_2=14$ м, $x_3=24$ м. У цих випадках $L_2=14,1$ м, $L_3=14,1$ м. Відповідні величини монтажних жорсткостей і осьових сил:

$$c_2=1261 \text{ кг/см; } c_3=567 \text{ кг/см;}$$

$$P_2=14304,7 \text{ кг; } P_3=16464 \text{ кг.}$$

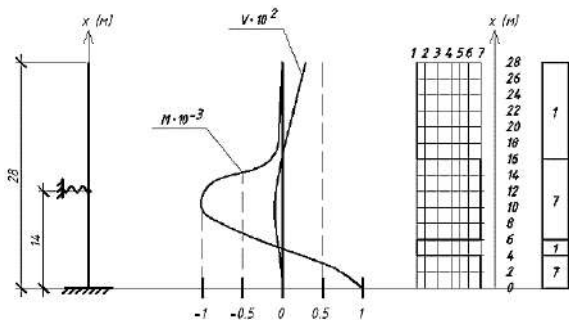


Рис. 4с. Розрахункова схема щогли з однією опорою. $L_1=14$ м

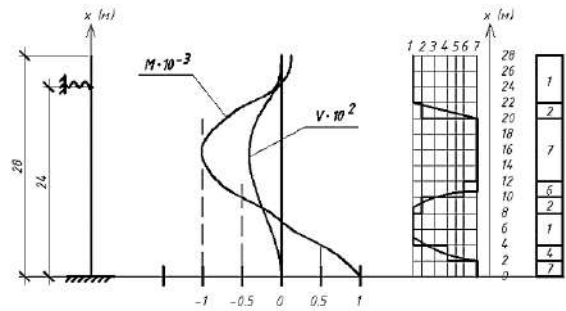


Рис. 4d. Розрахункова схема щогли з однією опорою. $L_1=24$ м

Рис. 4е ілюструє випадок, коли наявні опори в точках $x_2=14$ м і $x_3=24$ м, але відсутня опора в точці $x_1=6$ м.

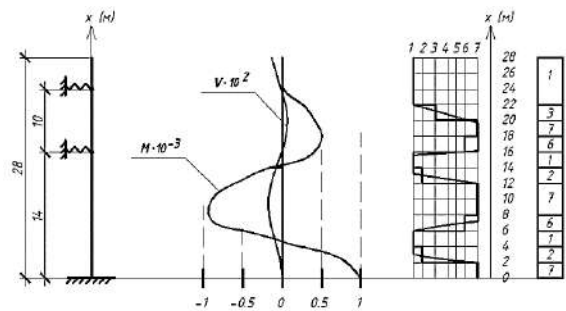


Рис.4е. Розрахункова схема щогли з однією опорою. $L_1=14$ м, $L_2=10$ м

На рис.5 приведена замкнута крива в координатах об'єму матеріалу – коефіцієнту запасу стійкості. При цьому цифрами 1, 2,...,7 на осі об'ємів позначені величини об'ємів, що відповідають виконанню усіх секцій щогли з труб одного і того ж перерізу за сортаментом, відповідно до N1, N2,...,N7. Точки нижньої кривої АСВ відповідають коефіцієнтам запасу стійкості для щогл постійного по висоті поперечного перерізу. Верхня крива АDB відповідає оптимальним розподілам, що максимізували коефіцієнт запасу стійкості. Розрахунки проведені для випадку трьох опор, точки розташування яких і параметри такі ж, як і в розглянутому раніше прикладі. На рис. 6 приведений оптимальний розподіл для точки D, рис. 5.

Як відмічено в [10], крива АDB характеризує також рішення подвійних задач, а саме задач знаходження законів розподілу геометричних характеристик по висоті щогли, що мінімізують об'єм матеріалу при фіксованому коефіцієнті запасу стійкості; для такого завдання природно використати позначення $\alpha \rightarrow V$; зокрема рішення такої задачі визначає точку D' на рис.5. При цьому, якщо відрізок CD характеризує ефект підвищення коефіцієнту запасу стійкості відносно точки 3, то

відрізок D'C демонструє зниження об'єму матеріалу по відношенню до точки С.

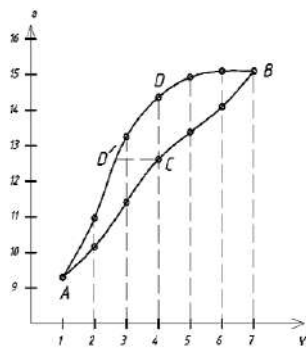


Рис. 5. Загальний вигляд кривої в координатах об'єму матеріалу, коефіцієнту запасу стійкості

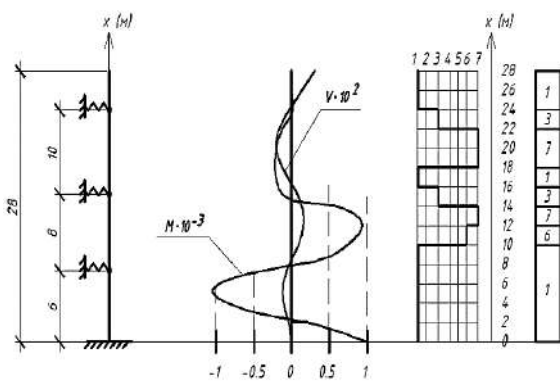


Рис. 6. Розрахункова схема щогли з трьома опорами

Висновки

Розроблена методика підбору перерізів збірних секцій щогли за умови оптимізації об'єму матеріалу та максимізації коефіцієнту запасу стійкості. Задача оптимізації полягає у знаходженні варіаційної функції розподілу по висоті площ перерізів елементів щогли. Наведено розрахунок щогли висотою 28,0 м за методикою для різних умов розташування пружно-податливих опор по висоті. Наведено приклад побудови замкнутої кривої в координатах об'єм матеріалу – коефіцієнт запасу стійкості, яка відповідає оптимальним розподілам поперечних перерізів по висоті та максимізує коефіцієнти запасу стійкості.

Література

1. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. Чинний від 01.09.2022. Вид. офіц, Київ : УкрНДНЦ, 2022. 199 с.
2. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1. Чинний від 01.09.2022. Вид. офіц, Київ : УкрНДНЦ, 2022. 30 с.

3. Дривінг О.Я. Стійкість щогл на відтяжках. Видавництво літератури по будівництву, 1964. 112 с.
4. Гриньов В.Б., Філіппов А.П. Про оптимальні окреслення стрижнів в задачах стійкості. Будівельна механіка і розрахунок споруд, 1975, №2, с.21-27.
5. Гриньов В.Б., Філіппов А.П. Про оптимальні стрижні в задачах стійкості під впливом розподілених навантажень. Будівельна механіка і розрахунок споруд, 1975, №6, с.23-27.
6. Корноухов М.В. Вибрані твори з будівельної механіки. Київ : Вид. АН УРСР, 1963. 324с.
7. Левада В.А., Яровий Ю.М. Жорсткість пружно-податливих опор щоглових систем. Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудівництво. Серія: Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-комунального, промислового, транспортного призначення. Дніпропетровськ: ПДАБА, 2011. Вип. 61, с. 522-526.
8. Driving, A.Ya., Kalinin, A.Yu. To the calculation of compression-bending elements of single-span frames // Metal constructions tested. Sat. work/. Interuniversity thematic collection of works. BALDS. 1986. WITH. 42-49.
9. Milada L. Pezo, Vukman V, Bakic, Zoran J. Markovic. Structural analysis of guyed mast exposed to wind action. https://www.researchgate.net/publication/283008404_STABILITY_ANALYSIS_OF_A_GUYED_MAST#pdf
10. Гриньов В.Б., Філіппов А.П. Оптимізація стрижнів за спектром власних значень. Київ : Наукова думка, 1979. 211с.
11. Папкович П.Ф. Праці з будівельної механіки корабля. В 4т, т. 4.: Судобудівництво, 1963. 552с.

References

1. DBN B.2.6-198: 2014. (2022). *Steel structures*. Standards of design, manufacture and installation. Ministry of Regions of Ukraine: Kyiv.
2. DBN B.1.2-14:2018.(2022). *General principles for reliability and constructive safety ensuring of buildings and civil engineering works*. Ministry of Regions of Ukraine: Kyiv.
3. Driving A.Ya., (1964). *Stability of the masts on guy ropes*. Construction Literature Publishing House.
4. Grinev V.B., Filippov A.P. (1975.) On optimal outlines of rods in stability problems. *Structural Mechanics and Calculation of Structures*, 2, 21-27.
5. Grinev V.B., Filippov A.P. (1975). On optimal rods in stability problems under the action of distributed loads. *Structural Mechanics and Calculation of Structures*, 6, 23-27.
6. Kornoukhov M.V. (1963). *Vibration of work on the future mechanism*. Kyiv: Vid. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. 324 p.
7. Levada V.A., Yaroviy Yu.M. (2011). Rigidity of elastic-pliable supports of mast systems. *Construction. Materials Science. Engineering. Series: Innovative technologies of the life cycle of housing and civil, industrial and transport facilities*. Dnepropetrovsk: PDABA, 61, 522-526.
8. Driving A.Ya., Kalinin A.Yu. (1986). To the calculation of compression-bending elements of single-span frames. *Metal constructions tested. Sat. work/. Interuniversity thematic collection of works*. BALDS. WITH. 42-49.
9. Milada L. Pezo, Vukman V, Bakic, Zoran J. Markovic. *Structural analysis of guyed mast exposed to wind action*. https://www.researchgate.net/publication/283008404_STABILITY_ANALYSIS_OF_A_GUYED_MAST#pdf
10. Grinev V.B., Filippov A.P. (1979). *Rod Optimization by Eigenvalue Spectrum*. Kyiv. Naukova dumka.
11. Papkovich P.F. (1963). *Works on the construction mechanics of the ship*. vol.4. Sudostroenie Publ.

Автор: ЯРОВИЙ Юрій Миколайович
кандидат технічних наук, доцент, професор
кафедри теоретичної і будівельної механіки
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова
Yuriy YAROVYY
PhD (Tech), Associate Professor, Professor of the
Department Theoretical and Structural Mechanics
O.M. Beketov National University of Urban Economy in
Kharkiv, Ukraine
E-mail - Yriy.Yarovyy@kname.edu.ua
ID ORCID: orcid.org/0009-0005-1951-9798

Автор: ЯРОВИЙ Сергій Миколайович
доктор технічних наук, доцент, професор кафедри
будівельного проєктування
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова
Serhii IAROVYI
PhD (Tech), Associate Professor, Professor of the
Department of construction design
O.M. Beketov National University of Urban Economy in
Kharkiv, Ukraine

E-mail: Serhii.Iarovyi@kname.edu.ua
ID ORCID: orcid.org/0000-0003-2886-9456

Автор: ЛЕВАДА Володимир Анатолійович
Головний конструктор ТОВ «НВС «КОНЦЕПТ
БУД»
Volodimir LEVADA
Chief designer of LLC «NVS «CONCEPT BUD»
E-mail: vladimirlevada@gmail.com

Автор: АЛЬОШЕЧКИНА Тетяна Миколаївна
старший викладач кафедри теоретичної і
будівельної механіки
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова
Tetyana ALIOSHECHKINA
seniorlecturer of the Department of Theoretical and
Structural Mechanics
O.M. Beketov National University of Urban Economy in
Kharkiv, Ukraine
E-mail: Tetiana.Alioshechkina@kname.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7234-1558>

SELECTION OF RATIONAL PARAMETERS OF MASTS IN THE STUDY OF THEIR STABILITY

Yu. Yaroviy¹, S. Iarovyi¹, V. Levada², T. Alioshechkina¹

¹O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

²LLC «NVS «CONCEPT BUD»

The calculation of mast systems is conducted using a simplified computational model, where the mast is represented as a compressed rod supported by elastically flexible points. These points correspond to the locations where the guys are attached, providing both lateral stability and resistance to deformation. Masts are generally designed with several levels of guy attachments along their height, and this multi-level guying plays a crucial role in determining the overall stress-strain distribution and stability of the structure.

One of the key challenges in mast design is the optimization of the cross-sectional areas of its structural elements, which often vary along the height of the mast. The goal is to reduce the material consumption without compromising the safety and stability of the mast. Achieving this balance requires careful analysis and precise engineering calculations.

In this context, one approach to optimizing the cross-sectional elements of the mast involves examining its stability under different loading conditions. The task of optimization can be framed as finding the optimal distribution of the cross-sectional areas along the mast's height, with the objective of maximizing the structure's stability safety factor. By adjusting the cross-sectional areas in such a way that the stability margin is maximized, engineers can ensure that the mast remains safe and reliable even under adverse conditions, such as strong winds or seismic activity.

In summary, the design and optimization of mast systems require a careful balance between material efficiency, structural strength, and stability. The use of computational models allows engineers to simulate various scenarios, enabling them to select the most appropriate cross-sectional configurations. Ultimately, the goal is to create a mast system that is not only cost-effective but also capable of withstanding the demands placed upon it by its environment.

Keywords: mast systems, elastic-malleable support, design system, optimization problem, stability factor.